

AI × 石油化工 · 应用场景

人工智能与大模型 在中国石油化工行业的应用场景【2026方案】

以 AI 能力为纲 · 25 个可落地的炼化生产场景 · 降本增效测算与实施路径

AI 正在改造工业：五种能力，看得见的效果差距

从“能聊天”到“能干活”——视觉盯装置、模型算收率、大模型写组态出报表，这是本方案 25 个场景的能力基础

- 01

视觉感知与多模态识别

让机器长出不疲劳的眼睛

泄漏火焰识别 · 特殊作业监控 · 机器人读表 · 装卸监管 · 炉膛火炬看火
- 02

逻辑推理与问题解决

让机器会算账、会推演

计划优化 · 装置 RTO / APC · 裂解炉优化 · 能源平衡 · 油品调和
- 03

代码与软件工程

让机器帮工程师写代码、接系统

DCS / SIS 助手 · 接口适配 · 位号治理 · 零代码工具 · 工控安全
- 04

自然语言理解与知识管理

让厂里的经验不再只靠人传

知识库问答 · 故障诊断 · 报表生成 · 作业票 / HAZOP · 培训应急
- 05

数据建模与预测预警

让机器提前告诉你会出什么事

机组预维 · 软仪表预警 · 腐蚀预测 · 运行周期 · 环保预警

效果对比 传统方式 → AI 方式（行业参考区间）		
泄漏发现时间	巡检 2 小时一趟	分钟级
高价值产品收率	经验保守操作	+0.3~1 个点
全厂综合能耗	月底算账，事后调整	-1~3%
大机组非计划停机	定期检修 + 人工点检	-20~40%
关键质量指标	化验 2~4 小时一次	实时推算
报警数量	内操每小时几十条	-50~70%
查一份规程	30 分钟	1 分钟
生产日报	每天 1~2 小时	10 分钟

政策牵引：《原材料工业数字化转型工作方案（2024—2026 年）》及所附《石化化工行业数字化转型实施指南》（工信部等九部门，2024 年 1 月）、《危险化学品企业安全风险智能化管控平台建设指南（试行）》（应急管理部，2022 年 1 月）、国务院《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》（2025 年 8 月），可对接智能工厂梯度培育与专项资金。

国内外应用场景与案例：头部炼化企业已经把 AI 部分能力用在生产上

以下均为公开报道数据，说明的是方向与量级；本方案的场景与路径与这些标杆一致

中国石化·镇海炼化 浙江宁波 首批领航级智能工厂·唯一入选的炼化企业 - 智能化生产每年增效超 2 亿元，平均劳动效率提升 50% 以上；数字孪生先模拟、再优化乙烯装置参数 - 变电站无人值守 + 机器人巡检；3D 扫描焦炭分布自动控制抓斗除焦；软件机器人替代跨系统重复操作 - 依托“长城大模型”与“石化智云”平台，五大业务域 24 个场景 5G 化，形成 13 个可复制的行业典型应用 来源：经济日报、科技日报、中国石化新闻网（2025—2026 年）	中国石油·广东石化 广东揭阳 昆仑大模型 × 首个“无数据孤岛”云原生智能工厂 运营成本降低 15%，万元产值能耗降低 9%，劳动生产率提高 20%，入选国家智能制造示范工厂 - 企业综合数据库：300 余万条主数据、170 余个数据服务，数据自动采集率 98% 以上，集成效率 +80% - 昆仑大模型（3,000 亿参数）“智能问数”秒级取数，炼化工艺技术人员劳动强度降低 30% 来源：中国石油新闻中心、人民日报社《中国能源报》、新浪财经（2024—2025 年）	中国石化·扬子石化 江苏南京 长城大模型：为每套装置打造专属 AI “大管家” - 接入国产化部署的长城大模型，把装置规程、参数、历史数据、运行总结建成装置专属知识库 - AI 诊断机泵运行趋势，压力波动区间收窄 50%；3~4 小时的人工分析缩短至几分钟 - 巡检管理看板上线 3 个月，异常响应效率提升近 40%；承包商考核通报由大模型自动生成 来源：中国石化新闻网 / 中国石化报（2025 年 4 月、9 月）
中控技术 TPT 时序大模型 浙江 / 山东 / 陕西 浙石化 / 万华 / 兰州石化装置运行优化落地 - 浙石化 HDPE 装置：质量波动 -30.17%，牌号切换时间 - 20.35%，产率 +1.045% - 万华宁波氯碱：电解槽能耗 -0.5~1%，离子膜寿命预测精度 95%，年节约超千万元 - 兰州石化榆林化工乙烯：单炉乙烯收率 +0.373%，投炉升温缩短 4~5 小时，年效益 ≥1,500 万元 来源：新华网、中控技术 TPT 公开案例（2025 年）	横河电机 × ENEOS Materials 日本四日市 全球首例 AI 自主控制精馏塔正式投用 - 强化学习 AI 直接操作精馏塔阀门，连续自主运行近 1 年，跨越约 40℃ 季节温差稳定合格 - 对比人工操作，蒸汽消耗与 CO₂ 排放降低 40%，不合格品归零，操作工手动干预归零 - 此前 DCS / APC 做不到、只能靠老师傅手动调阀的工况，AI 接管后成为日常操作（2023 年正式采用） 来源：ENEOS Materials 与横河电机官方新闻（2023 年 3 月）	壳牌 Shell / 沙特阿美 Aramco 全球 预测性维护与灯塔工厂：AI 规模化用在生产上 - Shell：10,000+ 台关键设备预测性维护，300 万传感器、每周 200 亿行数据、每天 1,500 万次预测 - Aramco：5 座 WEF 灯塔工厂；Uthmaniyah 气厂无人机 + 可穿戴巡检时间减少 90%，Khurais 维护成本 -30% - Aramco Metabrain 大模型 2,500 亿参数，以 90 年运营数据训练，辅助工程与运维决策 来源：C3 AI / SPE JPT（2022 年）、Aramco 官网

共同规律：先把数据打通，再从装置优化、能源、机组预维、安全监管等高价值场景切入，旁路验证达标后再闭环推广 —— 这也是本方案的路径。

能力一

视觉感知与多模态识别能力

—— 让机器长出不疲劳的眼睛

本章场景

- 1.1 装置区泄漏 / 火焰 / 烟雾智能识别与预警
- 1.2 特殊作业与人员行为安全智能监控
- 1.3 巡检机器人与就地仪表视觉读取（表计 / 阀位 / 泄漏）
- 1.4 罐区 / 装卸区 / 进出厂作业过程智能监管
- 1.5 加热炉 / 火炬燃烧状态识别与燃烧优化



1.1 装置区泄漏 / 火焰 / 烟雾智能识别与预警

泄漏**分钟级发现**，不再等巡检路过或有人闻到味

现状：靠人、靠经验

- 法兰、机泵密封、阀门填料**泄漏靠巡检的鼻子和眼睛**，两小时一趟，中间是盲区
- 固定式可燃 / 有毒气体报警器**只覆盖点位**，风一吹就漏报；误报多了就被忽视
- 小泄漏拖成大数据：**一次火灾爆炸 = 停工 + 事故调查 + 追责**

AI 落地后

- **利旧现有视频监控 + 加装红外气云成像相机**，覆盖机泵区、法兰群、压缩机房、罐区
- 深度学习识别气云、火焰、烟雾、油品滴漏，**秒级报警并定位到设备**，与 GDS 联合判别
- 多模态大模型按泄漏形态、风向、介质**给出处置建议与疏散范围**，自然语言新增识别规则

分钟级

泄漏发现时间（原巡检间隔小时级）

≥95%

火焰 / 烟雾识别准确率

-50%

气体报警误报（联合判别后）

落地：利旧摄像头 1~2 个月上线火焰烟雾识别；气云成像相机按重点区域分批加装，3~4 个月



1.2 特殊作业与人员行为安全智能监控

动火、受限空间、高处作业：**违章在发生的那一秒被拦住**

≥90%

违章行为识别准确率

现场痛点

- 八大特殊作业一天几十张票，**监护人盯不过来**，安全员只能抽查
- 不戴护目镜、监护人离岗、气防器材缺位、超范围动火等**习惯性违章事后追责改不了**
- 重大危险源现场人数、聚集超员**靠手工点名**，应急时说不清里面有几个人

AI 怎么做 —— 三步

01

作业票与视频绑定：监护人在位、动火区隔离、气体检测频次、人数上限，视觉自动核验

02

识别 PPE、闯入、倒地、攀爬、动火飞溅越界，**联动广播、作业票挂起、门禁**

03

对接人员定位（UWB / 北斗），**重大危险源实时人数与超员预警**；自然语言一天上线新规则

-60% 特殊作业违章次数（3 个月内）

100% 作业全过程视频留痕

落地：利旧摄像头 + 移动布控球起步，1~2 个月上线首批规则，对接作业票系统



1.3 巡检机器人与就地仪表视觉读取（表计 / 阀位 / 泄漏）

读表不再靠人抄：巡检覆盖 100%，人只处理异常

现场痛点

就地压力表、液位计、阀位、机泵油位**靠人抄表**，两小时一趟，数据不进系统

夜班、雨雪、高温高噪声区域**巡检质量打折**，漏检看不出来

机泵异响、渗漏、法兰滴油等**人发现时已经拖了很久**

AI 怎么做

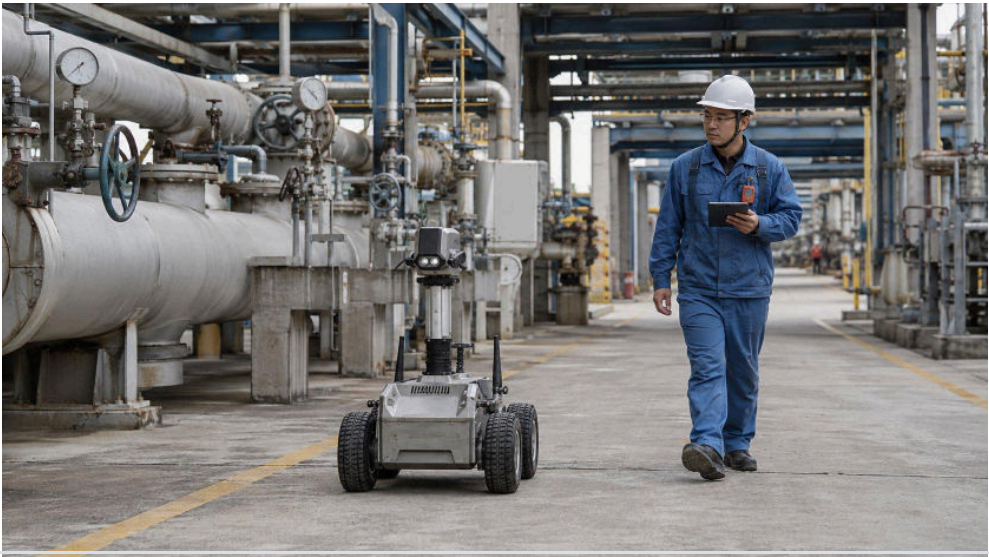
- 防爆轮式 / 轨道巡检机器人 + 固定相机，**视觉读取表计、液位、阀位、油位**，自动比对 DCS
- 声纹 + 红外**识别机泵异响、轴承高温、法兰滴漏，异常自动推送工单
- 巡检数据形成**设备健康档案**，人工巡检改为按异常复核，路线与频次动态调整

≥99%
表计读数识别准确率

-50~70%
人工巡检工时

100%
巡检点覆盖与留痕

落地：先选 1~2 套装置试点，防爆认证机器人与网络覆盖 3~4 个月



1.4 罐区 / 装卸区 / 进出厂作业过程智能监管

装卸全过程**机器盯着**：静电接地、鹤管、在岗一个都不能少

现状：靠人、靠经验

- 罐车装卸**接地夹不夹、鹤管未插到位、操作人离岗**，靠现场两个人互相盯
- 进出厂排队、过磅、开票、验票**人工环节多**，高峰期排队几小时
- 罐区人员误入、外来车辆乱停、**火灾隐患**只有巡检时才看得到

AI 落地后

- 装卸鹤位相机识别**接地夹连接、鹤管到位、人员在岗、灭火器就位**，不合规不给开阀
- 车牌 / 罐号 / 铅封识别 + 电子作业单，**进出厂无人化**：登记、排队、过磅、装卸、出厂一次通过
- 罐区周界与罐顶**入侵、烟雾、浮盘异常**识别，联动广播与消防系统

≥90%

装卸违规行为识别率

-50%

进出厂平均时长

→ 0

装卸环节人为漏项

落地：利旧鹤位与门岗摄像头，对接 TAS / 计量 / 门禁，2~3 个月



1.5 加热炉 / 火炬燃烧状态识别与燃烧优化

看火不靠经验：加热炉热效率提 0.5~1 个点，火炬冒烟归零

+0.5~1

加热炉热效率（百分点）

现场痛点

- 炉膛偏烧、火焰刷炉管、燃烧器堵塞靠操作工看火孔，班与班判断不一
- 为保燃烧“多给风”，氧含量偏高 1~2 个点就是几十万燃料
- 火炬冒黑烟被投诉、被拍到就是环保处罚，发现时已经冒了半小时

AI 怎么做 —— 三步

01

炉膛防爆火焰相机 + 图像识别，判定火焰形态、偏烧、脱火、结焦倾向，实时提示

02

融合氧含量、炉膛负压、燃料气组分，给出风门 / 燃料气分配建议，与 APC 联动

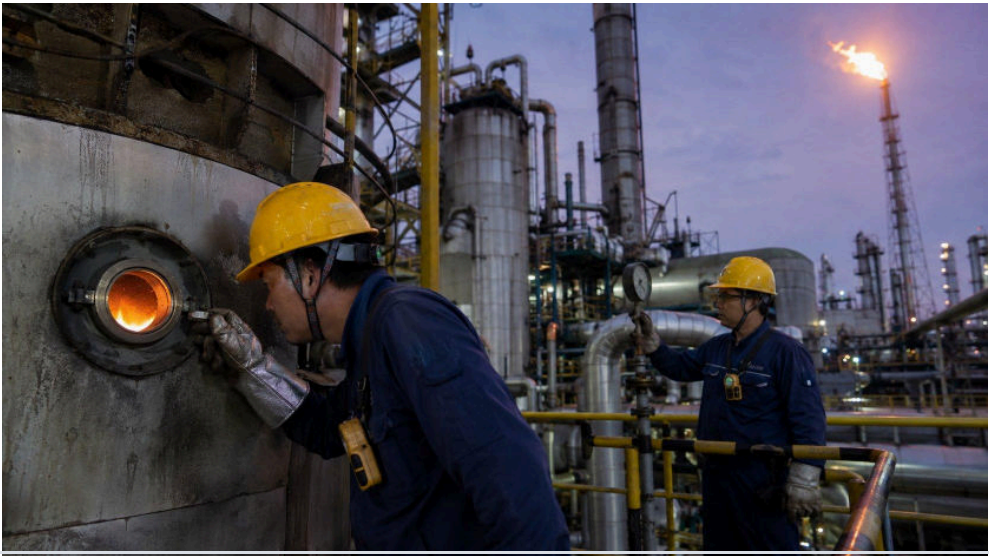
03

火炬头相机识别冒烟等级与火焰长度，联动蒸汽助燃量自动调节，留痕合规

-1~2 炉膛氧含量（百分点）

-80% 火炬冒烟事件

落地：单台加热炉 2~3 个月，先提示、后与 APC 联动；火炬 1~2 个月



能力二

逻辑推理与问题解决能力

—— 让机器会算账、会推演

本章场景

- 2.1 炼化全流程计划优化与原油选择（分子炼油）
- 2.2 重点装置 AI 实时优化（RTO）与先进控制（APC）提升
- 2.3 乙烯裂解炉投料 / 裂解深度 / 运行周期智能优化
- 2.4 全厂蒸汽 / 氢气 / 燃料气能源系统平衡优化
- 2.5 油品在线调和优化与质量卡边控制



2.1 炼化全流程计划优化与原油选择（分子炼油）

每桶原油都算过：**吨油效益 +3~10 元**，计划编制从三天变几小时



现场痛点

- 原油品种多、价格天天变，**选油、配油靠经验和几张 Excel**
- 计划模型只有几个专家会用，**建模周期长，市场一变来不及重排**
- 计划与调度、调度与实绩**脱节**，月底才知道偏差在哪



AI 怎么做 —— 三步

01

原油评价 + 分子表征建**全流程收率与性质模型**，大模型智能体自动读行情、库存、装置状态

02

线性 / 非线性规划求**原油采购 + 加工方案 + 产品结构最优**，一句话触发重算与情景对比

03

计划下发到排产，**实绩自动回算偏差**并持续校正（大连院同类智能体入选工信部 2025 年 AI 典型案例）

小时级 滚动计划编制（原 2~3 天）

-30% 计划执行偏差

落地：需原油评价库、装置模型与 ERP / MES 数据，4~6 个月；千万吨炼厂年效益 2,000~8,000 万元



2.2 重点装置 AI 实时优化（RTO）与先进控制（APC）提升

卡边操作不靠胆量：**高价值产品收率 +0.3~1 个点**，**平稳率 $\geq 98.5\%$**

现场痛点

APC 投用率上去了但 模型老化、约束放松 ，实际还是操作工 “保守运行”	换原油、换方案时 最优操作点 在哪没人算，靠工艺员经验试	常减压、催化、加氢、重整各自优化，全厂 不一定最优
--	-------------------------------------	----------------------------------

AI 怎么做

- 机理 + 数据混合模型在线校正装置模型，实时优化（RTO）算出最优设定值下发 APC
- AI 识别 APC 性能衰退，**自动重辨识与重整定**，约束按实时经济性收紧
- 大模型把优化结果**翻译成操作建议并解释原因**，旁路运行 → 人工确认 → 逐步闭环

+0.3~1 高价值产品收率（百分点）	-1~3% 装置能耗	$\geq 98.5\%$ 关键参数平稳率
-------------------------------	----------------------	--

落地：单套装置 4~6 个月，需 APC 与实时数据库基础；千万吨炼厂年效益 2,000~6,000 万元



2.3 乙烯裂解炉投料 / 裂解深度 / 运行周期智能优化

裂解炉“会算”：**乙烯收率 +0.3~0.5 个点**，投炉升温省 4~5 小时

现状：靠人、靠经验

- 裂解深度、出口温度（COT）、稀释比**靠经验定**，原料一换就跑偏
- 多台炉交替清焦，**切换排程靠人排**，结焦速率看不准：清焦早了浪费、晚了憋压
- 投炉、停炉升降温**靠老师傅带**，一次操作十几小时，人累且不一致

AI 落地后

- 裂解机理 + 时序大模型建**收率 / 结焦速率预测**，按原料性质与价格实时算最优 COT 与深度
- 多炉协同排程**：清焦周期、负荷分配、切换时间一体优化，兼顾下游裂解气压缩机负荷
- 投炉 / 停炉**操作路径规划**，分步提示并校验（中控 TPT 在兰州石化榆林化工：单炉乙烯收率 +0.373%，升温缩短 4~5 h）

+0.3~0.5

乙烯收率（百分点）

+10~20%

裂解炉运行周期

-4~5 h

投炉升温时间

落地：需裂解炉运行与原料分析数据 1 年以上，建模 4~6 个月；百万吨乙烯年效益 1,500~4,000 万元



2.4 全厂蒸汽 / 氢气 / 燃料气能源系统平衡优化

蒸汽不放空、氢气不进火炬：**综合能耗降 1~3%**



现场痛点

- 高中低压蒸汽各装置各管，减温减压多、放空多，锅炉与汽机负荷分配靠调度经验
- 氢气产用不同步，富氢气进燃料气或火炬，一年烧掉的氢值几千万
- 峰谷电价、自发电、燃料气热值波动，能源成本月底才算清

AI 怎么做 —— 三步

01

建全厂蒸汽动力 + 氢网络 + 燃料气管网统一模型，时序预测未来 4~24 小时产耗

02

优化锅炉 / 汽机 / 减温减压 / PSA 负荷分配与氢气路由，在线给出调度方案

03

大模型自动出能源日报与偏差解释，异常放空、火炬排放实时预警

-30~50% 氢气 / 燃料气火炬排放

-50% 蒸汽放空量

落地：需能源管理系统（EMS）与计量完善，4~6 个月；千万吨炼化一体化年效益 3,000~8,000 万元



2.5 油品在线调和优化与质量卡边控制

辛烷值不再“白送”：**质量过剩降到 0.2 以内**，调和效益 5~15 元/吨

现场痛点

组分性质波动，为保合格**辛烷值、闪点、硫留 0.5~1 个单位余量**，白送给了客户

一次调和不合格**回调、倒罐、重化验**，占罐占时间

组分罐、成品罐库存与出厂计划**没和调和方案联动**

AI 怎么做

- 在线近红外 (NIR) / 色谱 + 软仪表**实时算组分与成品性质**，不再等化验
- 非线性调和模型 + 优化求解，**组分配比与添加剂用量按最小成本卡边**，滚动修正
- 与罐区库存、出厂计划联动，**大模型解释配方变化原因**，配方留痕可追溯

≤0.2
汽油辛烷值质量过剩 (原 0.5~1)

≥98%
一次调和合格率

5~15 元/t
调和效益 (成品油)

落地：需在线分析仪与罐区自动化条件，3~5 个月；千万吨炼厂年效益 1,500~4,000 万元



能力三

代码与软件工程能力

—— 让机器帮工程师写代码、接系统

本章场景

- 3.1 AI DCS / SIS 组态与联锁逻辑审查助手 (含报警治理)
- 3.2 大模型 DCS / 实时数据库 / LIMS / MES 异构接口自动适配
- 3.3 全厂位号治理与实时数据清洗落盘系统
- 3.4 AI 零代码随手开发车间运维工具系统
- 3.5 大模型工控安全漏洞扫描与防攻击系统 (DCS / SIS 网络)



3.1 AI DCS / SIS 组态与联锁逻辑审查助手（含报警治理）

联锁逻辑核对从几周变几天，报警泛滥减 50~70%

现场痛点

联锁因果表、SIS 逻辑、DCS 组态三套资料对不上，改造后核对靠人翻	报警泛滥：一个内操一小时几十上百条报警，真正重要的被淹没	霍尼韦尔、艾默生、横河、中控、和利时组态语言各异，懂的人越来越少
-------------------------------------	------------------------------	----------------------------------

AI 怎么做

- 大模型读 P&ID、因果表、SIS 逻辑、DCS 组态，自动交叉核对并输出差异清单
- 按 EEMUA 191 / ISA 18.2 分析报警合理化：抖动、重复、无效报警自动给整改建议
- 自然语言生成 / 修改组态与功能块（ST / FBD / 厂家脚本），自动加注释，厂内私有化部署

天级 联锁逻辑核对周期（原数周）	-50~70% 报警数量（报警治理后）	+30~50% 组态与改造效率
---------------------	------------------------	--------------------

落地：梳理组态与联锁资料，私有化部署 1~2 个月可用；报警治理按装置滚动推进



3.2 大模型 DCS / 实时数据库 / LIMS / MES 异构接口自动适配

几十套系统、几十万位号：接口周期缩短 60%

现状：靠人、靠经验

- DCS / SIS / 实时数据库 / LIMS / MES / ERP / 罐区计量协议五花八门
- 几十万位号人工映射慢且易错，系统升级一次接口重做
- 数据不通，上层 AI 应用都是空中楼阁

AI 落地后

- 大模型读位号表、接口文档、P&ID，自动识别位号语义并生成统一标签
- 自动生成采集配置与转换代码（OPC UA / Modbus / 数据库 / API），人工复核后上线
- 参考 ISA-95 / ISA-106 建统一数据模型与目录，接口变化自动提示

-60%

接口开发周期

≥95%

位号语义映射准确率

-40~60%

系统集成成本

落地：首期 3~4 个月接入核心系统，是其他场景的前置工程



3.3 全厂位号治理与实时数据清洗落盘系统

数据先洗干净模型才可信：**可用率 ≥98%**

≥98%

数据可用率（原 80~90%）

现场痛点

- 位号命名不规范、量程改了不更新、**软测量点没人维护**
- 漂移、断线、卡值、时间戳错位，**做模型 70% 的时间在清数据**
- 实时数据库压缩存储**历史失真**，回溯一次事故找不到高频数据

AI 怎么做 —— 三步

01

规则 + 统计 + 机器学习**三层识别异常**，自动标记、插补、剔除并出数据质量报告

02

统一落**工业时序库**长期高频存储，位号字典与量程变更自动同步

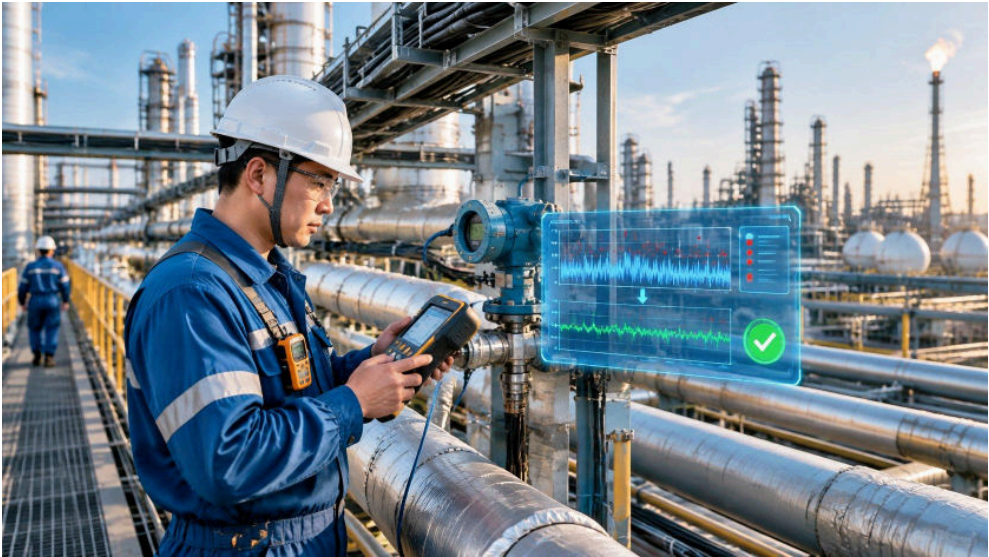
03

异常**实时推送仪表维护**；自然语言秒级出报表、出图

-80% 报表制作时间

-40% 模型开发周期

落地：与接口适配同步建设，2~3 个月覆盖核心位号



3.4 AI 零代码随手开发车间运维工具系统

车间小需求**当天上线**，不再排队等信息中心

现场痛点

巡检记录、交接班、机泵切换、隐患上报、临时用电等**小需求**
IT 排不上队

纸上数据沉不下来，**统计一个机泵切换周期要翻几个月本子**

外包做个小系统**几万到几十万**，
改字段还要走流程

AI 怎么做

- 低代码 + 大模型：**一句话描述需求**，自动生成表单、流程、看板、提醒
- 防爆手机 / PDA 即用，支持**扫码、拍照、语音**，数据进统一库
- 大模型**按周自动汇总**隐患整改率、切换周期、备件消耗

小时级
应用开发周期（原数周）

20~50 个
每车间每年新增应用

≥90%
纸质记录电子化率

落地：平台部署 1 个月，每车间 1~2 名种子用户滚动推广



3.5 大模型工控安全漏洞扫描与防攻击系统（DCS / SIS 网络）

一次勒索病毒可致全厂停工，先把工控家底摸清

现状：靠人、靠经验

- 默认口令、老旧操作站、U 盘随插、办公网与控制网混连
- 勒索病毒可致装置停工，恢复数天，损失千万级；SIS 被误动更危险
- 等保 2.0 与工控安全检查趋严，资产清单都说不清

AI 落地后

- 被动监听为主的资产发现与漏洞扫描，不影响 DCS / SIS 运行
- 大模型生成整改方案与分区分域策略（IEC 62443），按风险等级排优先级
- 实时监测异常流量与操作（非工作时间内装、陌生设备接入）并告警

100%

工控资产可视

≥95%

高危漏洞整改率

小时级

安全事件响应（原天级）

落地：先 2~4 周资产摸底与风险评估，再分阶段整改，利用大修窗口实施



能力四

自然语言理解与知识管理能力

—— 让厂里的经验不再只靠人传

本章场景

- 4.1 全厂工艺 / 设备 / HSE 知识库智能问答
- 4.2 设备故障诊断与检维修方案助手
- 4.3 生产日报 / 班报 / 装置技术分析报告自动生成
- 4.4 作业票 JSA / HAZOP / 变更管理 (MOC) 智能辅助与合规审查
- 4.5 安全培训、应急预案与合规助手



4.1 全厂工艺 / 设备 / HSE 知识库智能问答

老师傅的经验留下来，新人 1 分钟问到答案

现状：靠人、靠经验

- 操作规程、工艺卡片、P&ID、HAZOP 报告、MSDS、事故案例散在各人电脑和档案室
- 老师傅退休经验带走，新员工独立顶岗要 2~3 年
- 应急时找不到预案，全靠记忆和喊人

AI 落地后

- 私有化大模型 + RAG，导入规程、图纸、检修记录、HAZOP、事故分析、MSDS
- 手机 / PC 一句话提问，答案带出处页面，可追问，按岗位分权
- 高频问题自动成 FAQ，缺失知识提示补充（扬子石化已基于长城大模型为每套装置建“专属知识库”）

1 分钟

查资料时间（原 30 分钟）

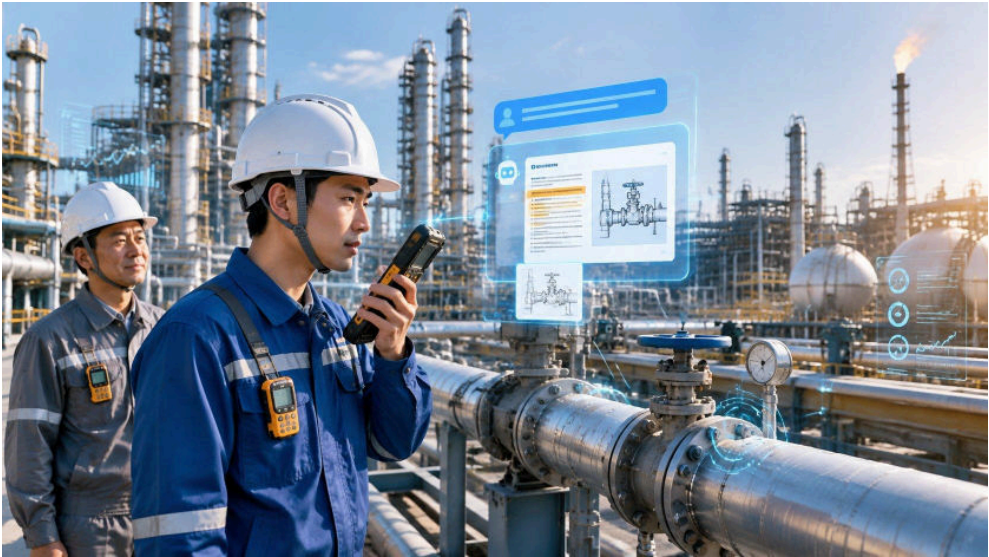
-30~50%

新员工独立顶岗周期

≥90%

问答准确率（带出处）

落地：资料整理 1 个月，系统上线 1~2 个月；数据不出厂



4.2 设备故障诊断与检维修方案助手

判错一次换错一堆件：**一次诊断准确率 $\geq 80\%$**

$\geq 80\%$

一次诊断准确率

现场痛点

- 机泵、压缩机、换热器故障靠点检员和老师傅判断，判错就换错件
- 检修方案每次重写，同类故障的历史工单找不到
- 检修总结没人写，经验沉不下来



AI 怎么做 —— 三步

01

融合故障描述、振动 / 温度 / 电流 / 油液数据与历史工单，输出原因排序与检查步骤

02

现场按步骤反馈，模型动态收敛根因，联动备件库存与检修窗口

03

检修完成自动生成工单报告并沉淀到知识库

-20~30% MTTR 平均修复时间

-70% 检修方案编制时间

落地：需设备台账（EAM / SAP PM）与工单记录，与知识库共用底座，1~2 个月



4.3 生产日报 / 班报 / 装置技术分析报告自动生成

下班 **10 分钟**出报表，领导看到的是原因不是数字

现场痛点

每套装置**每天 1~2 小时**做报表，
手抄手算、口径不一

月度技术分析**写一周**，领导看
到数字看不到原因

信息滞后，**次日上午**才看到**昨天**的问题

AI 怎么做

- 自动从实时数据库、LIMS、MES、能源、设备系统取数，**按模板生成班报 / 日报 / 月度技术分析**
- 自动写同比环比、偏差原因与建议**，支持对话式追问“为什么收率低了”
- 自动分发到手机，**异常指标主动推送**（扬子石化：3~4 小时人工分析缩至几分钟）

-80%

报表制作人力

10 分钟

当班结束后出报

统一

全厂数据口径

落地：依赖数据底座，模板梳理 2 周，上线 1 个月



4.4 作业票 JSA / HAZOP / 变更管理 (MOC) 智能辅助与合规审查

作业票审批快一半，风险分析一条都不漏

现状：靠人、靠经验

- 作业票 JSA 分析复制粘贴走形式，风险辨识不全，审批人签字靠信任
- HAZOP 报告几百页，建议项落实情况没人跟
- 变更管理 (MOC) 漏评估、漏更新图纸和规程，是事故常见根因

AI 落地后

- 大模型读作业内容、介质、位置、气象，自动生成 JSA 风险项与管控措施，比对历史事故
- HAZOP / LOPA 报告结构化入库，建议项自动跟踪闭环，复审时自动比对变化
- MOC 申请自动检查关联规程、P&ID、联锁、培训是否更新，缺项挂起

-50%

作业票审批时长

100%

JSA 风险项完整率

-80%

变更评估遗漏项

落地：对接作业票与 MOC 系统，1~3 个月；与知识库共用底座



4.5 安全培训、应急预案与合规助手

预案不靠背：应急处置卡秒级到岗到人



现场痛点

- 三级教育、复训千人一面，考完就忘
- 预案几百页没人记得住，出事靠现场指挥经验
- 环保、安全检查材料每次突击加班

AI 怎么做 —— 三步

01

按岗位、装置生成培训内容与考题，事故案例情景演练

02

应急时按事件类型秒级推送处置卡：做什么、谁负责、疏散路线、上风向集合点

03

自动整理培训、隐患、演练、排放台账，按检查清单输出

+15~20 考试通过率（百分点）

-50% 应急决策时间

落地：与知识库共用底座，1~2 个月上线



能力五

数据建模与预测预警能力

—— 让机器提前告诉你会出什么事

本章场景

- 5.1 关键机组预测性维护（压缩机组 / 大机泵 / 空冷 / 风机）
- 5.2 关键质量软仪表与装置工艺异常预测预警
- 5.3 设备腐蚀与管线完整性预测（RBI 动态风险）
- 5.4 催化剂 / 炉管 / 换热器性能衰减预测与运行周期优化
- 5.5 环保排放预测预警与 VOCs / 污水 / 硫回收优化



5.1 关键机组预测性维护（压缩机组 / 大机泵 / 空冷 / 风机）

该修的才修：非计划停机降 20~40%，机组故障提前 7~30 天预警



- 现场痛点
- 大机组非计划停机一次损失百万到千万，定期检修“该修的没坏，没修的坏了”
 - 在线监测系统（TDM）有报警没诊断，数据堆着没人看趋势
 - 备件为保险大量囤，资金占用高

AI 怎么做 —— 三步

01
压缩机组、大机泵、空冷、风机接入振动 / 温度 / 电流 / 油液 / 工艺参数

02
机器学习识别不平衡、不对中、轴承、密封、喘振等故障模式并预测剩余寿命

03
大模型生成维护建议，关联备件与大修窗口，预警→工单→验证闭环

7~30 天 机组故障提前预警

-10~20% 维修成本

落地：先选 20~50 台关键机泵与机组试点，模型 3~6 个月成熟；Shell 全球已有 10,000+ 台设备按此方式运行



5.2 关键质量软仪表与装置工艺异常预测预警

化验结果提前 2 小时知道，飞温、液泛提前 30 分钟预警

现场痛点

柴油闪点、干点、汽油辛烷值、
乙烯纯度等**2~4 小时**才出一次
化验，出来时已经跑了两小时

反应器飞温、塔液泛、催化剂
跑损**发现时**已在发展，靠内操
盯屏

在线分析仪贵、维护难，**投用
率低**

AI 怎么做

- 工艺数据 + 化验数据建**软仪表**，实时推算关键质量，化验结果自动校正
- 时序异常检测识别**飞温、液泛、堵塞、波动前兆**，分级预警并给检查项
- 大模型解释预警原因与相似历史工况，**提示操作方向**（中控 TPT 在兰州石化：参数预测准确度 99.79%）

实时

关键质量推算（原 2~4 h 化验）

30~120 分钟

工艺异常提前预警

-30~50%

化验频次（稳定产品）

落地：单套装置 2~3 个月，需 1 年以上工艺与化验数据



5.3 设备腐蚀与管线完整性预测（RBI 动态风险）

腐蚀减薄**算得出来**：泄漏事件减半，检测点减 30%

现状：靠人、靠经验

- 高温硫 / 环烷酸、露点、循环水结垢**腐蚀靠定点测厚**，检一次几千点，仍防不住穿孔
- 原油劣质化、工况变化后**腐蚀速率变了不知道**
- RBI 评估几年做一次，**风险等级是静态的**

AI 落地后

- 融合工艺参数（温度、流速、硫 / 酸 / 氯含量）、在线腐蚀探针、定点测厚建**腐蚀速率模型**
- **动态 RBI**：实时更新风险等级，预测剩余寿命与下次检测时间，高风险点自动加密
- 大模型关联材质、工艺卡边、历史泄漏案例，**给出工艺防腐与检测建议**

-50%

腐蚀泄漏事件

-30%

低风险检测点数量

≤15%

剩余寿命预测偏差

落地：需测厚与腐蚀探针历史数据，3~5 个月；与现有 RBI 体系衔接



5.4 催化剂 / 炉管 / 换热器性能衰减预测与运行周期优化

换剂、清焦、清洗**时机算出来**：运行周期延长 10~20%

+10~20%

装置运行周期

现场痛点

- 催化剂活性衰减**靠提温补偿**，什么时候换剂、什么时候降量靠经验
- 换热器结垢、加热炉炉管结焦**不到压降憋住不知道**，清一次停一次
- 运行周期与检修计划**不联动**，长周期运行目标难兑现



AI 怎么做 —— 三步

01

催化剂活性、床层压降、换热器污垢热阻、炉管壁温建**衰减预测模型**

02

按产品价格、能耗、检修成本**优化换剂 / 清焦 / 清洗时机**与降量策略

03

与大修计划联动，**给出运行周期方案与经济性对比**，大模型解释取舍

≤1 个月 换剂时机预测偏差

-20% 清焦 / 清洗次数

落地：需 2 个运行周期以上历史数据，建模 3~4 个月



5.5 环保排放预测预警与 VOCs / 污水 / 硫回收优化

超标提前 30 分钟预警，环保不再靠突击

现场痛点

硫回收 SO₂、加热炉 NO_x、
污水 COD 超标一次 = 停工整顿 + 罚款

污水处理药剂“多加点保险”
消耗大，曝气风机满负荷电耗高

VOCs 无组织排放靠 LDAR 季度检测，督查一来就紧张

AI 怎么做

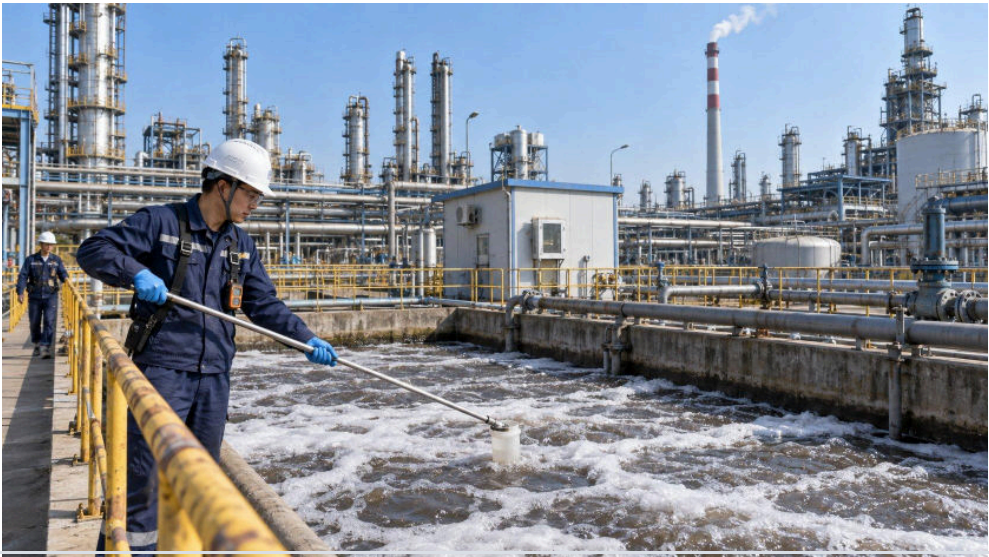
- 上游工况 + 在线监测数据预测 30~60 分钟排放趋势，提前调整操作与药剂
- 污水厂进水水质预测 + 药剂 / 曝气优化，COD 稳定达标、药剂电耗下降
- LDAR 数据 + 视觉气云识别锁定 VOCs 高发点，与 CEMS / DCS 联动自动出环保台账

≥30 分钟
超标预警提前期

-80%
超标事件

-5~10%
药剂与曝气电耗

落地：单套环保设施 2~3 个月，先硫回收与污水、后加热炉与 VOCs



技术方案：智能炼化 2.0 · 总体架构

一个数据底座、五类模型、25 个场景应用；标准接口松耦合对接，不改造 DCS / SIS 控制内核



安全与治理

- ▶ 私有化部署，数据不出厂，支持信创环境
- ▶ 分区分域，与工控安全防护同步建设，不触碰 SIS
- ▶ 权限分级、审计日志、决策留痕
- ▶ 模型版本管理与定期复训

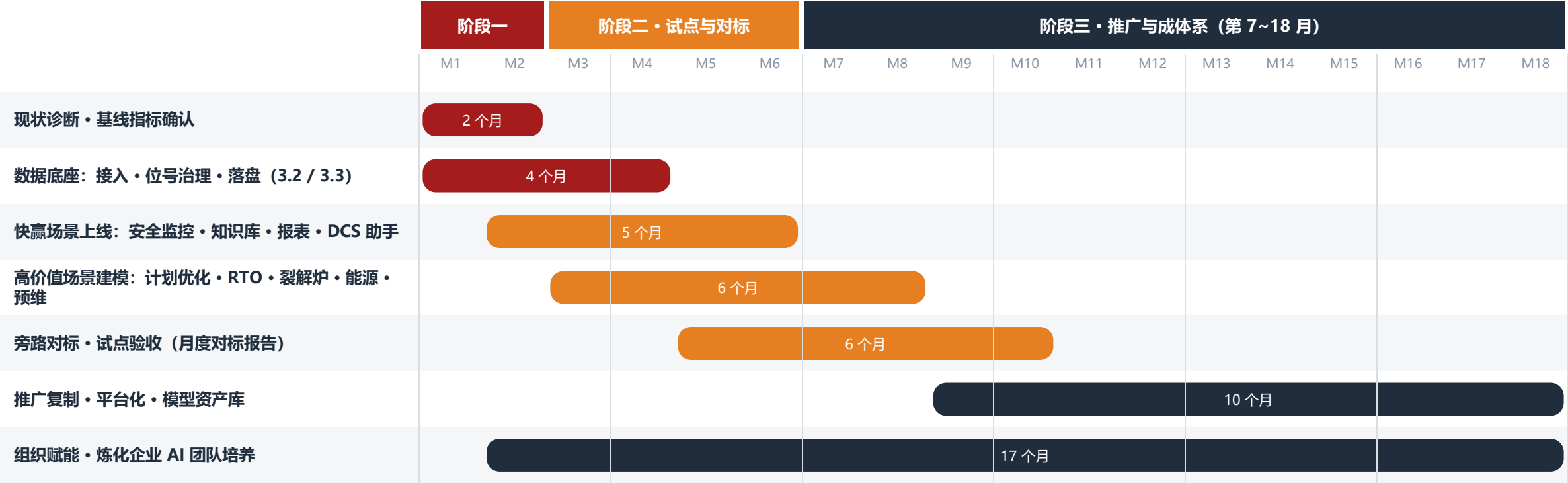
运行方式

- ▶ 旁路建议 → 人工确认 → 验证成熟后逐步闭环
- ▶ 任何时候一键切回人工 / 原 APC
- ▶ 每条建议可解释：数据、规则、相似工况
- ▶ 现场工艺 / 设备 / 安全专家参与建模与验收

数据自下而上汇聚、应用自上而下赋能：现场层不改动，接入层做翻译，数据底座做统一，模型层出结果，应用层给建议。

方案常规周期：推进步骤与时间

先打底座、先做快赢、再攻高价值、最后成体系；每一步都用对标数据说话



我方提供

算法与大模型能力、工业数据平台、实施与运维团队、现场培训、行业最佳实践与模型资产

炼化企业提供

数据接口与权限、试点装置、现场专家（工艺、设备、安全工程师）参与建模与验证、基线数据与验收配合

成果测算

启动前共同确认基线（近 6~12 个月实绩）与测算方法；旁路对标达到约定指标后结算或按效果分成；不达标不进入推广

预期效果评估（一）：生产与工艺优化类

“行业典型现状”为炼化企业常见区间，需以贵厂近 6~12 个月实绩为基线校准；“AI 应用后”为试点达标后的参考区间，不构成承诺。

场景	关键指标	行业典型现状	AI 应用后（目标区间）	效益量级 / 备注
全流程计划优化	吨原油加工效益 / 计划编制时间	经验 + 少数专家用计划模型，2~3 天出计划	+3~10 元/t，小时级出计划	千万吨炼厂 2,000~8,000 万元/年
装置 RTO / APC 提升	高价值产品收率	APC 投用但约束保守，收率随人波动	+0.3~1 个百分点	2,000~6,000 万元/年
装置 RTO / APC 提升	关键参数平稳率 / 装置能耗	平稳率 95~98%	平稳率 ≥98.5%，能耗 -1~3%	含在上项
乙烯裂解炉优化	乙烯收率 / 运行周期	COT 与深度靠经验，清焦排程靠人	收率 +0.3~0.5 个百分点，周期 +10~20%	百万吨乙烯 1,500~4,000 万元/年
全厂能源系统优化	综合能耗	炼油典型 55~65 kgoe/t，乙烯典型 570~600 kgoe/t	降低 1~3%	3,000~8,000 万元/年
全厂能源系统优化	氢气 / 燃料气火炬排放、蒸汽放空	产用不同步，放空 / 排火炬常见	火炬排放 -30~50%，放空 -50%	含在上项
油品调和优化	辛烷值质量过剩 / 一次合格率	过剩 0.5~1 个单位，回调多	过剩 ≤0.2，一次合格率 ≥98%	1,500~4,000 万元/年
加热炉 / 火炬燃烧优化	加热炉热效率 / 火炬冒烟	看火靠经验，氧含量偏高	热效率 +0.5~1 个百分点，冒烟 -80%	单台加热炉 100~300 万元/年
软仪表与工艺预警	关键质量获取 / 异常预警	化验 2~4 h 一次，异常靠内操盯屏	实时推算，提前 30~120 分钟预警	减少不合格品与非计划波动

预期效果评估（二）：安全、设备与环保类

“行业典型现状”为炼化企业常见区间，需以贵厂近 6~12 个月实绩为基线校准；“AI 应用后”为试点达标后的参考区间，不构成承诺。

场景	关键指标	行业典型现状	AI 应用后（目标区间）	效益量级 / 备注
泄漏火焰烟雾识别	泄漏发现时间 / 识别准确率	巡检间隔小时级，气体报警器只覆盖点位	分钟级，识别 ≥95%，误报 -50%	降低火灾爆炸与中毒风险
特殊作业智能监控	违章识别率 / 违章次数	监护人盯不过来，事后追责	识别 ≥90%，3 个月内违章 -60%	作业全过程留痕 100%
巡检机器人读表	读数准确率 / 巡检工时	人工抄表 2 小时一趟	≥99%，工时 -50~70%	巡检覆盖与留痕 100%
罐区装卸监管	装卸违规识别 / 进出厂时长	两人互盯，高峰排队几小时	识别 ≥90%，时长 -50%	装卸人为漏项 → 0
关键机组预测性维护	非计划停机 / 维修成本	定期检修 + 点检，TDM 有报警无诊断	停机 -20~40%，维修成本 -10~20%	提前 7~30 天预警，1,500~4,000 万元/年
腐蚀与完整性预测	腐蚀泄漏事件 / 检测点数	定点测厚，RBI 静态评估	泄漏 -50%，低风险检测点 -30%	剩余寿命预测偏差 ≤15%
催化剂 / 运行周期优化	运行周期 / 清焦清洗次数	换剂清焦靠经验	周期 +10~20%，清焦清洗 -20%	与腐蚀预测合计 1,500~3,000 万元/年
环保排放预警	超标事件 / 药剂电耗	事后发现，药剂“多加保险”	提前 ≥30 分钟预警，超标 -80%，药剂电耗 -5~10%	500~1,000 万元/年（不含避免处罚）
工控安全防护	资产可视 / 高危漏洞整改	资产清单不清，口令默认	资产 100% 可视，整改 ≥95%	事件响应小时级（原天级）

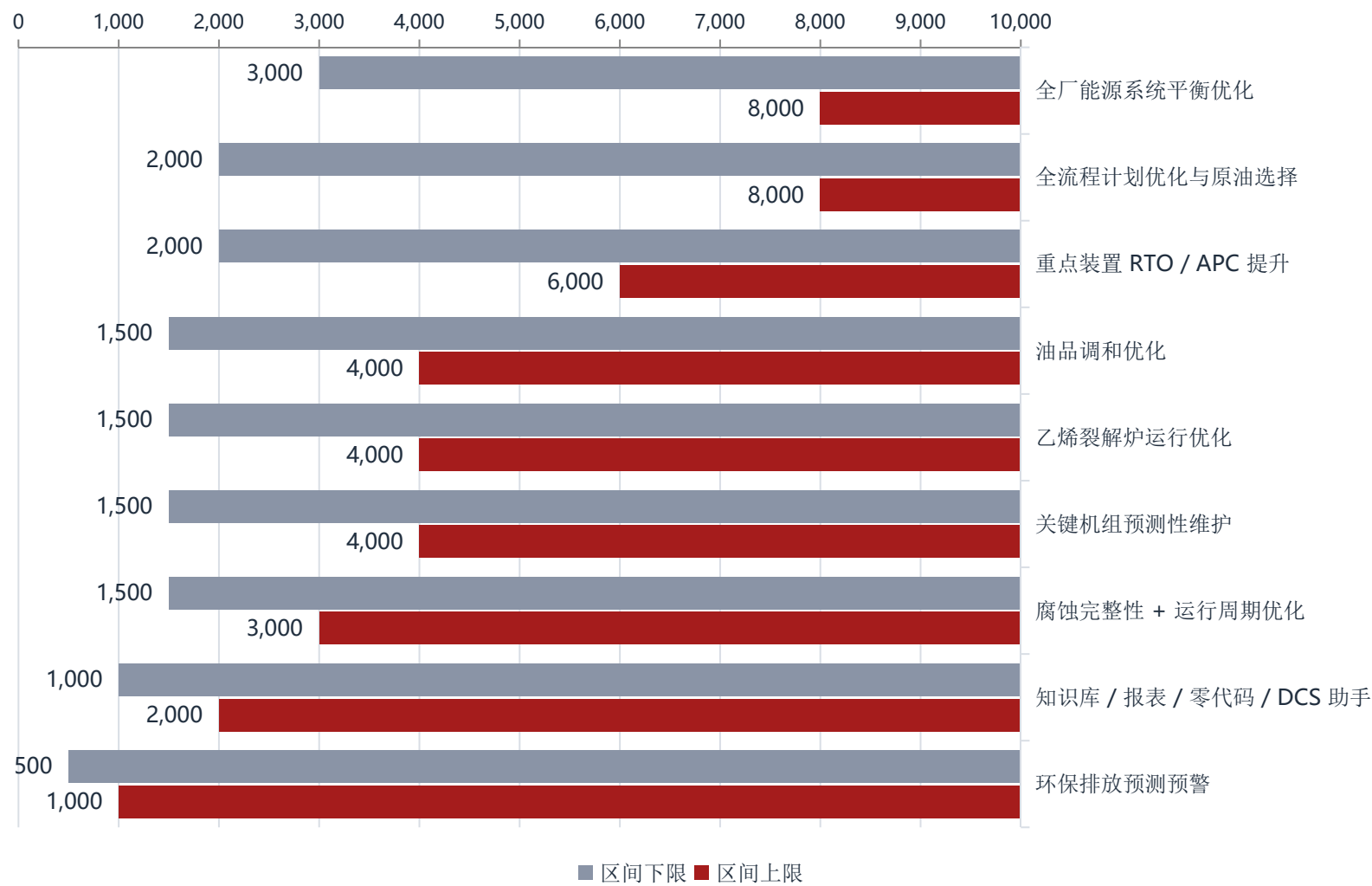
预期效果评估（三）：管理效率与数字化底座类

“行业典型现状”为炼化企业常见区间，需以贵厂近 6~12 个月实绩为基线校准；“AI 应用后”为试点达标后的参考区间，不构成承诺。

场景	关键指标	行业典型现状	AI 应用后（目标区间）	效益量级 / 备注
知识库智能问答	查资料时间 / 顶岗周期	30 分钟找一页，培训靠师傅带	1 分钟，独立顶岗周期 -30~50%	问答准确率 ≥90%（带出处）
故障诊断助手	一次诊断准确率 / MTTR	靠经验判断，判错换错件	≥80%，MTTR -20~30%	方案编制时间 -70%
报表自动生成	报表人力 / 时效	每套装置每天 1~2 小时	人力 -80%，当班结束 10 分钟出报	全厂数据口径统一
作业票 / HAZOP / MOC 助手	审批时长 / 风险项完整率	JSA 走形式，MOC 漏评估	审批 -50%，风险项完整 100%，漏评 -80%	从源头减少事故根因
安全培训与应急	培训准备时间 / 通过率	千人一面，考完就忘	准备 -60%，通过率 +15~20 个百分点	应急决策时间 -50%
DCS / SIS 组态助手	联锁核对周期 / 报警数量	核对数周，报警泛滥	天级，报警 -50~70%	组态效率 +30~50%
接口自动适配	接口开发周期 / 集成成本	人工映射几十万位号	周期 -60%，成本 -40~60%	位号语义映射准确率 ≥95%
位号治理与数据清洗	数据可用率	80~90%，70% 时间在清数据	≥98%，报表时间 -80%	模型开发周期 -40%
零代码运维工具	应用开发周期	数周 + 外包费用	小时级，每车间每年 20~50 个应用	纸质记录电子化 ≥90%

预期效果评估（四）：年效益量级对比

以 1,000 万吨/年炼油 + 100 万吨/年乙烯的炼化一体化企业为例，万元/年；区间下限~上限为行业参考值，具体以基线对标为准



合计潜在效益（千万吨级炼化一体化）
1.5~4 亿元/年

折合吨原油效益
15~40 元/吨原油

首年试点可实现比例
20%~30%

首年建议：2~3 个快赢场景 + 1~2 个高价值场景，先把 20%~30% 的效益做实，再复制推广。

方案术语与数据来源

数据来源

- 01

头部炼化企业公开成果

中国石化镇海炼化、扬子石化，中国石油广东石化、兰州石化，浙石化、万华等在官方渠道与主流媒体公开发布的智能工厂与 AI 应用数据
- 02

国际标杆与厂商公开资料

ENEOS Materials × 横河电机、Shell × C3 AI、Saudi Aramco 等官方新闻，WEF 灯塔工厂案例，中控技术 TPT 公开案例
- 03

我方工程经验与技术文献

工业 AI 项目实施经验、行业技术文献与标准（ISA-95 / ISA-18.2 / IEC 62443、GB 30871 特殊作业、GB 30251-2024 能耗限额等）

使用说明 本方案所有效益指标均为行业参考区间，不是对贵厂的承诺值；具体项目以双方共同确认的基线数据（近 6~12 个月实绩）、测算方法与验收标准为准，试点达标后再进入推广与结算。

政策依据

- 《原材料工业数字化转型工作方案（2024—2026 年）》及所附《石化化工行业数字化转型实施指南》（工信部等九部门，2024 年 1 月）
- 《危险化学品企业安全风险智能化管控平台建设指南（试行）》（应急管理部，应急厅〔2022〕5 号）
- 国务院《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》（国发〔2025〕11 号，2025 年 8 月）

方案术语

- 大模型（LLM）

以海量文本训练的大规模语言模型，能理解生成自然语言与代码；知识问答、报表生成、组态辅助的基础
- 多模态大模型

同时理解图像、视频与文字，可用自然语言定义视觉识别规则
- RAG 检索增强生成

大模型先在企业资料库中检索再回答，答案有出处、不“胡说”
- 机理 + 数据混合建模

把物料 / 热量平衡、反应动力学等工艺机理与机器学习结合，兼顾可解释性与精度
- 旁路运行

AI 只给建议、不直接控制装置，由人确认后执行；工业 AI 落地的安全起步方式
- 私有化部署

系统与数据全部部署在企业自己的服务器上，不上公有云
- DCS / SIS / APC / RTO

集散控制系统 / 安全仪表系统 / 先进控制 / 实时优化，炼化装置控制与优化的四层体系
- 软仪表

用工艺数据实时推算无法在线测量的质量指标（如闪点、辛烷值），不再等化验
- RBI 基于风险的检验

按设备失效可能性与后果确定检验策略；动态 RBI 用实时数据持续更新风险等级
- 平稳率 / 自控率

关键工艺参数在控制范围内的时间占比 / 控制回路投自动的比例，衡量装置操作水平的核心指标

感谢聆听

期待与您携手，把人工智能真正落到炼化企业的每一套装置

联系作者
richard



人工智能与大模型在石油化工行业的应用场景 | 2026 年 9 月 | 编制人: richard